温度对石蒜绵粉蚧生长发育和繁殖的影响

李思怡[1]，王吉锐[1]，赖秋利[1]，张胜娟[1]，邵炜冬[2]，徐志宏[1,*]

（1. 浙江农林大学农业与食品科学学院，浙江临安 311300；2. 舟山出入境检验检疫局，浙江舟山 316000）

摘要：【目的】石蒜绵粉蚧 *Phenacoccus solani* 是近年在我国新发现的一种重要检疫性害虫，温度是决定石蒜绵粉蚧能否建立稳定种群的最基本因素。本研究旨在探索温度对莴苣 *Lactuca sativa* 上石蒜绵粉蚧生长发育和繁殖的影响。【方法】在 20，23，26，29 和 32℃，光周期 14L∶10D，相对湿度 80% ±5% 的实验室条件下，测定了莴苣上石蒜绵粉蚧各虫态的发育历期、发育速率、存活率和繁殖力，组建了石蒜绵粉蚧的实验种群生命表。【结果】石蒜绵粉蚧各虫态的发育历期均随温度的升高而缩短，在 20℃下若虫发育历期最长，为 35.75 d；32℃时若虫发育历期最短，为 17.90 d。此外，温度显著影响石蒜绵粉蚧的存活，在 26℃时若虫期的存活率最高，为 67.33%；世代的发育起点温度为 12.23℃，有效积温为 770.90 日·度。石蒜绵粉蚧的产卵前期和成虫寿命随着温度的升高而缩短。成虫产卵量在 20℃时最高，达 88.02 粒/雌；32℃时最低，仅为 37.61 粒/雌。在 20～32℃种群趋势指数都大于 1，说明石蒜绵粉蚧对温度的适应范围广。但在 32℃时，产卵前期存活率明显降低，说明高温不利于石蒜绵粉蚧的繁殖。【结论】温度对石蒜绵粉蚧的生长发育、存活、繁殖及种群增长有显著的影响，26℃是最适宜石蒜绵粉蚧生长发育和繁殖的温度。

关键词：石蒜绵粉蚧；温度；生命表；发育起点温度；有效积温；种群趋势指数

中图分类号：Q968 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2018)10-1170-07

Effects of temperature on the growth, development and reproduction of *Phenacoccus solani* (Hemiptera: Pseudococcidae)

LI Si-Yi[1], WANG Ji-Rui[1], LAI Qiu-Li[1], ZHANG Sheng-Juan[1], SHAO Wei-Dong[2], XU Zhi-Hong[1,*]
(1. School of Agriculture and Food Science, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Lin'an, Zhejiang 311300, China; 2. Zhoushan Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Zhoushan, Zhejiang 316000, China)

Abstract:【Aim】*Phenacoccus solani* (Hemiptera: Pseudococcidae) has been found as one of important alien species in recent years in China. For the alien pest, temperature is always a crucial factor for constructing stable population. This study aims to clarify the effects of temperature on the growth, development and reproduction of *P. solani* population on the host *Lactuca sativa*.【Methods】The developmental duration, developmental rate, survival rate and fecundity of *P. solani* on *L. sativa* were compared in the laboratory under the conditions of 20, 23, 26, 29 and 32℃, photoperiod of 14L∶10D, and RH 80% ±5%, and the life table of the laboratory population was constructed.【Results】The developmental duration of various stages of *P. solani* all decreased with increasing temperature. The nymphal duration was the longest at 20℃ (35.75 d), and the shortest at 32℃ (17.90 d). Temperature significantly impacted its survival. The highest survival rate was recorded at 26℃ for the nymphal stage (67.33%). The developmental threshold temperature was 12.23℃, and the effective accumulated temperature was 770.90 day-degrees. Both preoviposition duration and adult longevity decreased with

基金项目：浙江检验检疫局项目(ZK201424)
作者简介：李思怡，女，1993 年 11 月生，硕士研究生，研究方向为农业昆虫与害虫防治，E-mail：709346758@qq.com
* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: zhhxu@zju.edu.cn
收稿日期 Received: 2018-01-16；接受日期 Accepted: 2018-07-05

increasing temperature, and the highest fecundity was 88.02 eggs laid per female at 20℃, and the lowest 37.61 eggs laid per female at 32℃. The population trend index was greater than 1 from 20 to 32℃, implying that the population increases at these temperatures and *P. solani* can adapt to a wide range of temperatures. However, the survival rate at the preoviposition stage was significantly reduced at 32℃, indicating that high temperature is not conducive to *P. solani* reproduction. 【Conclusion】Temperature significantly affects the growth and development, survivorship, reproduction and population increase of *P. solani*, and the most suitable temperature for this pest is 26℃.

Key words: *Phenacoccus solani*; temperature; life table; developmental threshold temperature; effective accumulated temperature; population trend index

石蒜绵粉蚧 *Phenacoccus solani* 隶属于半翅目(Hemiptera)蚧总科(Coccoidea)粉蚧科(Pseudococcidae)绵粉蚧亚科(Phenacoccinae)绵粉蚧属 *Phenacoccus*(王珊珊和武三安, 2009)。该虫最早发现于北美(墨西哥、加拿大、美国),后迅速扩散至中美洲、南美洲,目前欧洲、非洲、亚洲均有分布(郑斯竹等, 2015)。我国于 2008 年在新疆乌鲁木齐市的新疆农业大学温室的神仙草、球兰、伞树、狗尾草和北京植物园的三角柱、大戟科、麒麟掌上发现该害虫为害(王珊珊和武三安, 2009)。2014 年 6 月,苏州出入境检验检疫局在对进境景天科多肉植物宝石花隔离培养期间发现了石蒜绵粉蚧,经复核确认为我国首次截获(郑斯竹等, 2015),后多次在进口多肉植物上截获该虫(国家质量监督检验检疫总局, 2015)。目前我国台湾、北京、新疆地区有少量分布(陈淑佩等, 2002; 郑斯竹等, 2015)。而近年来,网购进口多肉植物逐渐成为时尚(胡莹冰和沈守云, 2013),但这些多肉大多没有相关的植物进口检验检疫证明,属于非法入境,大大增加了石蒜绵粉蚧传入我国的风险。对石蒜绵粉蚧传入中国的潜在危险性进行风险分析发现,其综合风险值 R 为 2.085,确定该害虫具高危风险(郑斯竹等, 2015),该虫传入后定殖、扩散的可能性大,并会对我国农业造成巨大危害。

石蒜绵粉蚧寄主植物非常广泛,尤喜食茄科、菊科和多肉植物。已报道寄主涵盖爵床科、石蒜科、菊科、豆科、姜科等 31 个科,其中包括苦苣菜、莴苣、辣椒、萝卜、番茄、马铃薯、南瓜等多种蔬菜(郑斯竹等, 2015),营孤雌生殖,具有惊人的繁殖力(Lloyd, 1952)。石蒜绵粉蚧是我国莴苣、马铃薯、辣椒等蔬菜作物的重要潜在危险性害虫,如管控不力,将造成其大规模传播(BenDov, 2005; Kaydan *et al*., 2008; 武三安和张润, 2009)。

生态因素中,温度是影响昆虫生长发育和繁殖的一个重要因子。温度对昆虫的影响一般通过特定温度下的存活率、生长发育速率、繁殖加以描述(赵洪霞等, 2012)。发育起点温度和有效积温是昆虫的基本生物学特征,同时也是准确测报发生期从而确定最适防治时期的关键。因此,利用昆虫的发育起点温度和有效积温结合当地气候条件,不仅可以了解该种昆虫的地理分布,还可根据有效积温法则预测其发生期并计算出在该地区发生的世代数理论值,从而及时安排合理的防控措施(张孝羲, 2002)。

目前,国内外有关石蒜绵粉蚧的研究较少,主要集中在识别、检疫、种群动态以及防治(Aheer *et al*., 2009; Beltrà and Soto, 2011)等方面。本研究选用在亚热带地区种植比较普遍的莴苣 *Lactuca sativa* 为寄主,研究该蚧虫发育数据,对于评估其在亚热带地区的入侵风险有重要的参考意义。本实验室曾以南瓜为寄主研究温度对扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis*、康氏粉蚧 *Pseudococcus comstocki* 和新菠萝灰粉蚧 *Dysmicoccus neobrevipes* 实验种群生长发育繁殖的影响(王莹莹等, 2012; 徐盼等, 2012; 胡钟予等, 2017),其中的粉蚧饲养技术可以为实验室恒温条件下系统研究石蒜绵粉蚧的生物学特性提供帮助。通过实验室种群研究可以计算石蒜绵粉蚧各虫态的发育起点温度和有效积温,同时建立石蒜绵粉蚧的实验种群生命表,这可以为更深入地了解温度对该虫种群消长动态的影响、丰富其测报参数、优化其测报预警技术及提升综合防控技术水平奠定基础。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

试验所用石蒜绵粉蚧来自舟山出入境检验检疫局截获的菲律宾香蕉上,在完整南瓜 *Cucurbita moschata* 果实表面进行饲养,置于实验室人工气候箱(宁波海曙赛福 PRX-350D),试虫饲养条件为温

度25℃ ±1℃,光周期14L:10D,相对湿度为80% ±5%,让其发育、继代繁殖10代,建立实验种群,作为供试虫源。试验所用的莴苣植株于大棚内繁殖,采叶片用于试验。

1.2 不同温度下发育历期的测定

本试验在人工气候箱内进行,设置20, 23, 26, 29和32℃(±1℃)共5个温度梯度,光周期14L:10D,相对湿度均为80% ±5%。

挑取处于产卵盛期的石蒜绵粉蚧20头,置于直径5.5 cm塑料培养皿中,以新鲜莴苣叶饲养,放入25 ±1℃气候箱中让其自然产卵,第2天可获得同日龄的初孵1龄若虫。挑取发育良好的单头初孵若虫接于剪裁为1 cm×3 cm大小的新鲜莴苣叶片上,将叶片置入平放的外径为1.5 cm的试管内,以保鲜膜封口,每个温度处理50头,重复3次。为减少水汽影响,在莴苣叶下方放置与其大小相近的湿润定性滤纸,每天定时加等量水保持试纸湿润,平均2~3 d更换叶片,每天定时观察并记录每一龄期的蜕皮时间、死亡率。

1.3 发育起点温度和有效积温的测定

发育起点温度(C)和有效积温(K)的计算采用"最小二乘法"进行计算(张孝羲, 2002)。将不同温度下石蒜绵粉蚧各虫态和整个世代的发育历期N换算成相应温度下的发育速率V($V=1/N$)。然后按照下列公式计算出石蒜绵粉蚧各虫态和世代的发育起点温度C和有效积温K:

$$C = \frac{\sum V^2 \sum T - \sum V \sum VT}{n\sum V^2 - (\sum V)^2};$$

$$K = \frac{n\sum VT - \sum V \sum T}{n\sum V^2 - (\sum V)^2}$$

其中:T为实验温度,V为发育速率(发育历期的倒数),C为发育起点温度,K为有效积温,n为实验处理数。

1.4 数据处理

根据不同温度(20, 23, 26, 29和32℃)下石蒜绵粉蚧各龄若虫的发育历期数据,在Excel2010中进行初步处理,用DPS5.0(唐启义和冯明光, 2007)进行单因素试验统计分析检验各虫态指标,并用Tukey氏检验各参数均值之间的差异显著性。

根据不同温度下石蒜绵粉蚧的1龄若虫、2龄若虫、3龄若虫、成虫及世代的存活率和成虫的繁殖率数据,参考门兴元等(2008)的方法组建不同温度下实验种群生命表,种群趋势指数I按照张孝羲(2002)的方法进行计算。

2 结果

2.1 不同温度下石蒜绵粉蚧各龄若虫发育历期

石蒜绵粉蚧各龄若虫在不同温度下的发育历期见表1。结果表明,温度对石蒜绵粉蚧若虫发育历期有显著影响,随着温度的升高,石蒜绵粉蚧若虫的发育历期缩短(表1)。20℃时1, 2和3龄若虫的发育历期最长,分别为16.78, 9.75和9.22 d; 23℃时分别为12.60, 9.21和8.67 d; 26℃时分别为11.86, 8.26和7.54 d; 29℃时分别为11.16, 8.16和6.85 d; 32℃时发育历期最短,分别为7.52, 5.30和5.09 d。其中1龄若虫的发育历期最长,在20℃时1龄若虫发育历期明显长于23~29℃,而32℃时则明显短于23~29℃。2龄若虫的发育历期在20℃~29℃时无显著性差异(表1)。

表1 不同温度下石蒜绵粉蚧各龄若虫发育历期(d)

Table 1 Developmental duration (d) of different instar nymphs of *Phenacoccus solani* at different temperatures

温度(℃) Temperature	1龄若虫 1st instar nymph	2龄若虫 2nd instar nymph	3龄若虫 3rd instar nymph	若虫期 Nymphal stage
20	16.78 ±0.24 Aa	9.75 ±0.19 Aa	9.22 ±0.13 Aa	35.75 ±0.37 Aa
23	12.60 ±0.43 Bb	9.21 ±0.29 Bab	8.67 ±0.05 Aa	30.48 ±0.28 Bb
26	11.86 ±0.20 Bbc	8.26 ±0.24 Bbc	7.54 ±0.26 Bb	27.67 ±0.17 Cc
29	11.16 ±0.32 Bc	8.16 ±0.12 Bc	6.85 ±0.04 Bb	26.50 ±0.21 Cd
32	7.52 ±0.22 Cd	5.30 ±0.15 Cd	5.09 ±0.16 Cc	17.90 ±0.10 De

表中数据为平均值±标准误(N=3),同列数据后不同的大写和小写字母分别表示在0.01和0.05水平差异显著(Tukey氏多重比较)。表2-4同。Data in the table are presented as mean ± *SE* (N=3), and those in the same column followed by different capital and small letters are significantly different at the 0.01 and 0.05 levels, respectively, by Tukey's multiple range test. The same for Tables 2-4.

2.2　温度对石蒜绵粉蚧成虫寿命和繁殖力的影响

温度对石蒜绵粉蚧成虫寿命和繁殖力的影响见表 2，不同温度条件下石蒜绵粉蚧成虫寿命和繁殖力均存在一定差异。石蒜绵粉蚧产卵前期和成虫寿命均随着温度的升高而缩短，其中在 20℃时产卵前期和成虫寿命最长，分别为 30.17 和 82.11 d；32℃时最短，分别为 11.14 和 36.77 d。石蒜绵粉蚧的产卵期在 20℃时最长，为 19.72 d；32℃时最短，为 8.05 d。

石蒜绵粉蚧的产卵量明显受温度的影响，随着温度的升高而减小。石蒜绵粉蚧在 20℃时产卵量最大，达 88.02 粒/雌；32℃时最低，仅有 37.61 粒/雌。

2.3　温度对石蒜绵粉蚧各虫态存活率的影响

温度对石蒜绵粉蚧各虫态的存活率见表 3。石蒜绵粉蚧各虫态的存活率在 26℃时最高。温度对石蒜绵粉蚧若虫的存活率影响因龄期的不同而有差异。不同温度下 1 龄若虫的存活率较低，随着虫龄增长，2 龄、3 龄若虫和产卵前期对温度的适应性增强，存活率较高，但 32℃时产卵前期的存活率明显低于其他温度。

2.4　石蒜绵粉蚧的发育起点温度和有效积温

根据不同温度下石蒜绵粉蚧的发育历期数据，经计算得到石蒜绵粉蚧的发育起点温度和有效积温见表 4。结果表明，1 龄若虫的发育起点温度为 11.58℃，有效积温为 161.73 日·度；2 龄若虫的发育起点温度为 10.99℃，有效积温为 116.6 日·度；3 龄若虫的发育起点温度为 8.29℃，有效积温为 126.67 日·度；整个若虫期的发育起点温度为 10.58℃，有效积温为 404.72 日·度；产卵前期的发育起点温度最高，为 13.47℃，有效积温为 212.16 日·度；石蒜绵粉蚧完成一个世代的发育起点温度为 12.23℃，有效积温为 770.9 日·度。

表 2　不同温度下石蒜绵粉蚧的成虫寿命和繁殖力

Table 2　Adult longevity and fecundity of *Phenacoccus solani* at different temperatures

温度(℃) Temperature	产卵前期(d) Preoviposition duration	产卵期(d) Oviposition duration	成虫寿命(d) Adult longevity	单雌产卵量 Number of eggs laid per female
20	30.17 ±0.25 Aa	19.72 ±0.09 Aa	82.11 ±0.38 Aa	88.02 ±6.52 Aa
23	22.76 ±0.14 Bb	19.00 ±0.10 Ab	65.23 ±0.69 Bb	79.76 ±6.97 ABab
26	17.36 ± 013 Cc	15.86 ±0.08 Bc	60.54 ±0.17 Cc	75.59 ±5.51 ABab
29	14.11 ±0.07 Dd	10.70 ±0.24 Cd	55.25 ±0.09 Dd	55.03 ±7.19 BCbc
32	11.14 ±0.07 Ee	8.05 ±0.06 De	36.77 ±0.26 Ee	37.61 ±4.03 Cc

表 3　不同温度下石蒜绵粉蚧的存活率(%)

Table 3　Survival rates (%) of *Phenacoccus solani* at different temperatures

温度(℃) Temperature	1 龄若虫 1st instar nymph	2 龄若虫 2nd instar nymph	3 龄若虫 3rd instar nymph	若虫期 Nymphal stage	产卵前期 Preoviposition stage
20	60.00 ±2.00 Bb	91.08 ±0.76 Aa	92.69 ±0.19 Aa	50.67 ±1.33 Bb	85.57 ±0.97 Bb
23	65.33 ±0.63 Bb	89.89 ±0.29 Aa	92.89 ±1.71 Aa	55.58 ±0.42 Bb	90.41 ±1.86 ABab
26	82.51 ±1.20 Aa	91.22 ±0.88 Aa	98.09 ±0.95 Aa	67.33 ±1.33 Aa	95.07 ±0.96 Aa
29	40.67 ±2.40 Cc	90.90 ±0.61 Aba	92.83 ±1.44 Aa	32.67 ±1.33 Cd	88.15 ±0.74 ABb
32	46.67 ±0.67 Cc	91.36 ±2.56 Aa	92.18 ±1.57 Aa	39.33 ±1.76 Cc	69.63 ±1.67 Cc

表 4　石蒜绵粉蚧的发育起点温度和有效积温

Table 4　Developmental threshold temperature and effective accumulative temperature (EAT) for *Phenacoccus solani*

发育阶段 Developmental stage	发育起点温度(℃) Developmental threshold temperature	有效积温(日·度) Effective accumulated temperature (degree-day)
1 龄若虫 1st instar nymph	11.58	161.73
2 龄若虫 2nd instar nymph	10.99	116.60
3 龄若虫 3rd instar nymph	8.29	126.67
若虫期 Nymphal stage	10.58	404.72
产卵前期 Preoviposition stage	13.47	212.16
世代 Generation	12.23	770.90

2.5 不同温度下石蒜绵粉蚧实验种群生命表

根据不同温度条件下各虫态的存活率和繁殖力资料组建了不同温度下石蒜绵粉蚧实验种群生命表(表5)。表中的初孵若虫为假定数150头,各虫态的存活率、每雌平均产虫数均为实际观察值。26℃时存活率最大。随着温度的升高,各虫态的每雌平均产虫数逐渐减少,20℃时最大,为87.98粒。

不同温度对石蒜绵粉蚧种群的实验种群趋势影响显著,20~32℃种群趋势指数 *I* 均大于1,表明石蒜绵粉蚧在下一代的种群数量均呈增长的趋势,其中种群趋势指数在26℃下最大,为52.91,即在26℃下,经过一个世代后,种群数量达到原来的52.91倍。

表5 不同温度下石蒜绵粉蚧实验种群生命表

Table 5 Experimental population life table of *Phenacoccus solani* at different temperatures

发育阶段/参数 Developmental stage/parameter	进入各发育期虫数/参数值 Number of individuals entering various developmental stages/parameter value				
	20℃	23℃	26℃	29℃	32℃
初孵若虫 Newly hatched nymph	150	150	150	150	150
2龄若虫 2nd instar nymph	90	98	124	61	70
3龄若虫 3rd instar nymph	82	88	113	55	64
成虫 Adult	76	82	111	51	59
产卵期 Oviposition stage	65	74	105	45	41
每雌平均产虫数 Number of nymphs produced per female	88.02	79.76	75.59	55.03	37.61
预计2代初孵若虫数 Total number of newly hatched nymphs of the next generation estimated	5 721.30	5 902.24	7 936.95	2 476.35	1 542.01
种群趋势指数 Population trend index *I*	38.14	39.35	52.91	16.51	10.28

3 讨论

生命表是研究和分析害虫种群动态的一种重要方法,一直被广泛运用(庞雄飞和梁广文, 1995)。本研究发现,温度对石蒜绵粉蚧种群数量变化有很大影响,随着温度的升高,石蒜绵粉蚧若虫的发育历期缩短。从初孵若虫到成虫的发育历期由20℃的35.75 d到32℃的17.90 d。本研究中,石蒜绵粉蚧若虫在20~29℃的发育历期趋势与 Nakahira 和 Arakawa (2006)的结果一致,这也与绝大多数温度对昆虫生长发育的影响研究结果一致(王莹莹等, 2012; 徐盼等, 2012; 尚小丽等, 2013; 李欣诺等, 2015)。但是在29~32℃范围内,石蒜绵粉蚧的发育历期仍随温度升高而缩短,这与之前其他蚧虫种类的研究结果都不一样,例如,扶桑绵粉蚧在18~28℃范围内,各虫态随着温度的升高,发育历期缩短,而在30℃时有所延长(王莹莹等, 2012);康氏粉蚧在30~32℃生长停滞(徐盼等, 2012);新菠萝灰粉蚧在32℃时此虫的生长发育明显受到抑制(胡钟予等, 2017)。这说明石蒜绵粉蚧有更宽的适温区。

不同的温度对石蒜绵粉蚧产卵前期存活率的影响也不一致。从总体上看,在20~32℃范围内,存活率先升后降,在26℃时达到最大,而在32℃,产卵前期的存活率显著低于其他温度。说明高温对石蒜绵粉蚧的繁殖有一定的抑制作用。同时在若虫期的不同虫态,其存活率有一定的差别,其中1龄若虫的存活率较低。说明这个阶段更容易受到环境的影响,以及更适合进行药剂防治,这与扶桑绵粉蚧的存活情况相似(黄芳等, 2011)。

不同的温度对石蒜绵粉蚧的繁殖力也有一定的影响。随着温度的升高,产卵量逐渐减少。从表4数据分析得出,29~32℃时的产卵量明显低于20~26℃,这与王飞飞等(2014)对扶桑绵粉蚧的研究结果和陈泽坦等(2010)对新菠萝灰粉蚧的研究结果不一致。造成这一现象的原因可能是由于石蒜绵粉蚧在低温状态下的发育历期较长,通过增加低温环境下的产卵量以保证后代种群稳定。通过实验得到石蒜绵粉蚧产卵前期的发育起点温度为13.47℃。石蒜绵粉蚧有较广的温度适应范围,在20~32℃下,其种群趋势指数都大于1,尤其是在26℃时种群趋势指数达到52.91,表明种群在这一温度范围内处于上升状态。

通过对实验所有数据的总体分析可得出,虽然随着温度的降低石蒜绵粉蚧的发育速率会减缓,但是产卵量的增大使种群得以稳定增加。而在高温环境中,成虫在产卵前期即性成熟阶段存活率明显降

低，说明高温抑制了石蒜绵粉蚧的繁殖力。造成这一现象的原因可能是由于高温或低温影响了昆虫体内的激素分泌进而影响卵巢的发育以及产卵（蒋丰泽等，2015）。对于具体的生理及生化机制也需要进一步研究。

本研究组建了不同温度下的石蒜绵粉蚧实验种群生命表，分析了温度对其生长发育和繁殖的影响，基本明确了石蒜绵粉蚧的发育起点温度和有效积温以及温度对石蒜绵粉蚧各虫态发育历期、存活率、种群繁殖力的影响。石蒜绵粉蚧因其孤雌生殖的繁殖方式，繁殖潜力较其他种类蚧虫更大，且其更为广泛的适温区在我国的分布时间广，其寄主种类也覆盖我国绝大部分地区，因此，石蒜绵粉蚧在我国具有很高的暴发为害风险。

然而，由于本研究是在室内恒温下进行的，其实验种群生命表所表明的种群动态和自然界种群的动态会存在一定的差异，自然界中除了温度外，湿度、光周期、寄主营养状况等因子均可对昆虫种群动态构成影响（向玉勇等，2011；邢鲲等，2013）。因此，今后有必要进一步开展变温、光照、种群密度、营养等综合因子对石蒜绵粉蚧生长发育影响的研究，以便更加全面系统地掌握各种环境因子对其世代的影响机制，创造不利于其生长发育的环境，寻找有效的防治措施。

参考文献（References）

Aheer GM, Ahmad R, Ali A, 2009. Efficacy of different insecticides against cotton mealtbug, *Phenacoccus solani* Ferris. *J. Agric. Res.*, 47(1): 53.

Beltrà A, Soto A, 2011. New records of mealybugs (Hemiptera: Pseudococcidae) from Spain. *Phytoparasitica*, 39: 385 – 387.

BenDov Y, 2005. The solanum mealybug, *Phenacoccus solani* Ferris (Hemiptera: Coccoidea: Pseudococcidae), extends its distribution range in the Mediterranean Basin. *Phytoparasitica*, 33(1): 15 – 16.

Chen SP, Chen QN, Weng ZY, 2002. A new pest of Taiwan: *Phenacoccus solani* Ferris (Homoptera: Pseudococcidae). *China Agric. Res.*, 51(2): 79 – 82.［陈淑佩，陈秋男，翁振宇，2002. 台湾新记录害虫——石蒜绵粉介壳虫（*Phenacoccus solani* Ferris）(Homoptera: Pseudococcidae). 中华农业研究，51(2): 79 – 82］

Chen ZT, Zhang XD, Zhang N, Yan Z, Ren MY, 2010. Life table of the experimental population of Comstock mealybug, *Pseudococcus comstocki* (Hemiptera: Pseudococcidae), at different temperatures. *Chin. J. Trop. Crops*, 31(3): 464 – 468.［陈泽坦，张小冬，张妮，严珍，任梅英，2010. 不同温度条件下新菠萝灰粉蚧实验种群生命表. 热带作物学报，31(3): 464 – 468］

General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, 2015. About the warning notice against *Phenacoccus solani* Ferris of succulent plants sent by mail. Available at: http://www.aqsiq.gov.cn/xxgk_13386/ywxx/dzwjy/201502/t20150216_432980.htm.［国家质量监督检验检疫总局，2015. 关于严防石蒜绵粉蚧随邮寄的多肉植物非法进境的警示通报. http://www.aqsiq.gov.cn/xxgk_13386/ywxx/dzwjy/201502/t20150216_432980.htm］

Hu YB, Shen SY, 2013. Landscape application and development trends of succulent plants. *Guangdong Agric. Sci.*, (12): 46 – 48.［胡莹冰，沈守云，2013. 多肉植物的景观应用及发展趋势. 广东农业科学，(12): 46 – 48］

Hu ZY, Shao WD, He YJ, Zhang JD, Xu ZH, 2017. Effects of temperature on the growth, development and reproduction of *Dysmicoccus neobrevipes* Beardsley (Hemiptera: Pseudococcidae). *Chin. J. Appl. Ecol.*, 28(2): 651 – 657.［胡钟予，邵炜冬，何雨健，张洁娣，徐志宏，2017. 温度对新菠萝灰粉蚧生长发育和繁殖的影响. 应用生态学报，28(2): 651 – 657］

Huang F, Zhang PJ, Zhang JM, Zhu YY, Lü YB, Zhang ZJ, 2011. Effects of three host plants on the development and reproduction of *Phenacoccus solenopsis*. *Plant Prot.*, 37(4): 58 – 62.［黄芳，张蓬军，章金明，朱艺勇，吕要斌，张治军，2011. 三种寄主植物对扶桑绵粉蚧发育和繁殖的影响. 植物保护，37(4): 58 – 62］

Jiang FZ, Zheng LY, Guo JX, Zhang GR, 2015. Effects of temperature stress on insect fertility and its physiological and biochemical mechanisms. *J. Environ. Entomol.*, 37(3): 653 – 663.［蒋丰泽，郑灵燕，郭技星，张古忍，2015. 温度对昆虫繁殖力的影响及其生理生化机制环境. 环境昆虫学报，37(3): 653 – 663］

Kaydan MB, Erkilic L, Kozar F, 2008. First record of *Phenacoccus solani* Ferris from Turkey (Hem., Coccoidea, Pseudococcidae). *Bull. Soc. Entomol. Fr.*, 113(3): 364.

Li XN, Wang LY, Zhang HY, Wang PN, Chen X, Sun H, Liu S, Guo TT, Yang KJ, 2015. Laboratory population life table of *Ostrinia furnacalis* at different temperatures. *Hubei Agric. Sci.*, 54(8): 1869 – 1872.［李欣诺，王丽艳，张海燕，王鹏南，陈茜，孙红，刘爽，郭婷婷，杨克军，2015. 不同温度下亚洲玉米螟实验种群生命表. 湖北农业科学，54(8): 1869 – 1872］

Lloyd DC, 1952. Parthenogenesis in the mealybug, *Phenacoccus solani* Ferris. *Can. Entomol.*, 84: 308 – 311.

Men XY, Yu Y, Zhang AS, Li LL, Zhang JT, Ge F, 2008. Life table of the laboratory population of *Lygus lucorum* Meyer-Dür (Hemiptera: Miridae) at different temperatures. *Acta Entomol. Sin.*, 51(11): 1216 – 1219.［门兴元，于毅，张安盛，李丽莉，张君亭，戈峰，2008. 不同温度下绿盲蝽实验种群生命表研究. 昆虫学报，51(11): 1216 – 1219］

Nakahira K, Arakawa R, 2006. Development and reproduction of an exotic pest mealybug, *Phenacoccus solani* (Homoptera: Pseudococcidae) at three constant temperatures. *Appl. Entomol. Zool.*, 41(4): 573 – 575.

Pang XF, Liang GW, 1995. Control of Pest Insect Population System. Guangdong Science and Technology Press, Guangzhou. 15 – 24.［庞雄飞，梁广文，1995. 害虫种群系统的控制. 广州：广东科

技出版社. 15 – 24]

Shang XL, Yang MF, Zhang CR, Cai L, Feng YL, Qiu T, 2013. Effects of temperature on the growth and development of *Pyralis farinalis* (Lepidoptera: Pyralidae), one insect used for producing insect tea in China. *Acta Entomol. Sin.*, 56(6): 671 – 679. [尚小丽, 杨茂发, 张昌容, 蔡兰, 冯友丽, 邱婷, 2013. 温度对产虫茶昆虫紫斑谷螟生长发育的影响. 昆虫学报, 56(6): 671 – 679]

Tang QY, Feng MG, 2007. DPS Data Processing System – Experimental Design, Statistical Analysis and Data Mining. Science Press, Beijing. [唐启义, 冯明光, 2007. DPS 数据处理系统: 实验设计、统计分析及数据挖掘. 北京: 科学出版社]

Wang FF, Zhu YY, Huang F, Du L, Lü YB, 2014. Effects of temperature on the development and reproduction of *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae). *Acta Entomol. Sin.*, 57(4): 436 – 442. [王飞飞, 朱艺勇, 黄芳, 杜亮, 吕要斌, 2014 温度对扶桑绵粉蚧生长发育的影响. 昆虫学报, 57(4): 436 – 442]

Wang SS, Wu SA, 2009. A new pest of China: *Phenacoccus solani* Ferris (Homoptera: Pseudococcidae). *Plant Quar.*, 23(4): 35 – 37. [王珊珊, 武三安, 2009. 中国大陆新纪录种: 石蒜绵粉蚧 (*Phenacoccus solani* Ferris). 植物检疫, 23(4): 35 – 37]

Wang YY, Xu ZH, Zhang LL, Shen LZ, Fu SL, 2012. Developmental duration and life table of the laboratory population of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) fed on pumpkin at different temperatures. *Acta Entomol. Sin.*, 55(1): 77 – 83. [王莹莹, 徐志宏, 张莉丽, 沈励泽, 傅思丽, 2012. 南瓜寄主上扶桑绵粉蚧不同温度下的发育历期和实验种群生命表. 昆虫学报, 55(1): 77 – 83]

Wu SA, Zhang RZ, 2009. A new invasive pest, *Phenacoccus solenopsis*, threatening seriously to cotton production. *Chin. Bull. Entomol.*, 46(1): 159 – 162. [武三安, 张润志, 2009. 威胁棉花生产的外来入侵新害虫——扶桑绵粉蚧. 昆虫知识, 46(1): 159 – 162]

Xiang YY, Yin PF, Wang MY, Luo X, Zhang YC, 2011. Developmental threshold temperature and effective accumulative temperature of *Heterolocha jinyinhuaphaga*. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 48(1): 152 – 155. [向玉勇, 殷培峰, 汪美英, 罗侠, 张元昶, 2011. 金银花尺蠖发育起点温度和有效积温的研究. 应用昆虫学报, 48(1): 152 – 155]

Xing K, Ma CS, Han JC, 2013. Evidence of long distance migration of diamondback moth (DBM) *Plutella xylostella*: a review. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 24(6): 1769 – 1776. [邢鲲, 马春森, 韩巨才, 2013. 小菜蛾远距离迁飞的证据研究综述. 应用生态学报, 24(6): 1769 – 1776]

Xu P, Xu ZH, Li SJ, Xu WG, Li HQ, Sheng XQ, Jin WZ, Wang YY, Zhao YM, 2012. Life table of the experimental population of Comstock mealybug, *Pseudococcus comstocki* (Hemiptera: Pseudococcidae), at different temperatures. *Acta Entomol. Sin.*, 55(12): 1362 – 1367. [徐盼, 徐志宏, 李绍进, 许渭根, 李罕琼, 盛仙俏, 金文灶, 王莹莹, 赵亦曼, 2012. 不同温度下康氏粉蚧实验种群生命表. 昆虫学报, 55(12): 1362 – 1367]

Zhang XX, 2002. Insect Ecology and Forecast. 3rd ed. China Agriculture Press, Beijing. [张孝羲, 2002. 昆虫生态及预测预报. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社]

Zhao HX, Tan YA, Xiao LB, Wu GQ, Bai LX, 2012. Effects of different temperatures on the development and reproduction of *Apolygus lucorum*. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 49(3): 585 – 590. [赵洪霞, 谭永安, 肖留斌, 吴国强, 柏立新, 2012. 不同温度对绿盲蝽种群生长发育和繁殖的影响. 应用昆虫学报, 49(3): 585 – 590]

Zheng SZ, Gao Y, Fan XH, 2015. Invasion risk analysis of *Phenacoccus solani* Ferris in China. *China Plant Prot. Guide*, 35(4): 75 – 77. [郑斯竹, 高渊, 樊新华, 2015. 石蒜绵粉蚧传入我国风险分析. 中国植保导刊, 35(4): 75 – 77]

(责任编辑: 赵利辉)